



FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

Trabajo Fin de Grado
ORIGEN Y BIODIVERSIDAD DEL POLEN
APÍCOLA

Autor: Ana Diéguez Antón

Tutor: José Antonio Molina Abril

Convocatoria: Junio 2017

RESUMEN

El polen apícola tiene un gran interés desde el punto de vista ambiental, en terapéutica para la prevención y tratamiento de distintas patologías, y como suplemento alimenticio por su gran valor nutricional. La encargada de llevar a cabo este proceso de producción de polen apícola (polen, néctar y secreciones salivales) es la abeja, uno de los polinizadores de mayor importancia. Existe una relación de mutualismo entre plantas y polinizadores que desempeña una función muy importante en la generación de la biodiversidad en la Tierra. Existen evidencias claras de un reciente descenso de polinizadores así como una disminución paralela de las plantas que dependen de ellos.

Son varios los factores potenciales que afectan a la biodiversidad en general y a la abundancia y diversidad de polinizadores en particular. Los diferentes factores ambientales raramente actúan de forma aislada (solo existen estudios de los factores de forma aislada), producen efecto por interacción con otros. Entre los factores se encuentra: modificaciones en el uso del territorio (la pérdida de hábitats reduce la diversidad y abundancia de abejas), utilización de productos químicos, introducción de especies exóticas (avispa asiática, *Vespa velutina*) y cambio climático global.

En el estudio realizado, se obtiene la biodiversidad polínica y botánica de 53 muestras de 3 localidades de Guadalajara (Castilla la Mancha) y 1 localidad que pertenece a la Comunidad de Madrid. Han sido facilitadas por el Centro de Investigación Apícola y Agroambiental de Marchamalo (CIAPA). En dicho estudio se ha podido observar cómo influyen en la biodiversidad polínica y botánica distintos factores ambientales como la altitud y el entorno paisajístico, así como los modelos de intervención y conservación del medio ambiente y de los ecosistemas llevados a cabo en Molina de Aragón que influyen positivamente en la biodiversidad.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Polen apícola: Definición, propiedades e interés ambiental, farmacéutico y alimenticio

El grano de polen es una estructura provista de una pared altamente resistente en cuyo interior se desarrolla el gametófito masculino en las plantas con semillas (espermatófitos) (Izco, J. et al., 2004). El intercambio genético que se produce durante la reproducción sexual por la polinización, resulta beneficiosa para la salud de las poblaciones y para la evolución de las especies. Los vectores o agentes encargados de transportar el polen de unas flores a otras son el viento, el agua o los animales (polinización biótica). Existe una relación de mutualismo

entre plantas y polinizadores que desempeña una función muy importante en la generación de la biodiversidad en la Tierra (Rosado Gordón, M.A. et al., 2012). Uno de los polinizadores de mayor importancia son las abejas, responsables de la polinización de aproximadamente el 30% de las especies de cultivo destinadas a la alimentación humana y de numerosas plantas silvestres. Presentan por tanto una gran importancia ambiental, además de proporcionar numerosos bienes ecosistémicos tales como producción de miel, jalea real, propóleos, pan de abeja y de venenos que tienen un gran interés farmacológico y alimenticio.

El polen se ha utilizado en la antigüedad por distintos motivos terapéuticos. Maimónides, físico en Córdoba (1135-1214) lo usa como tónico sedante y astringente. También es utilizado por Ibn el Beithar en 1200 como afrodisiaco, beneficioso para el estómago, como antiinflamatorio. El polen posee actividad antimicrobiana y antifúngica, antioxidante (promueve la reparación de tejidos), hepatoprotector, antitumoral, antiinflamatorio, antiosteoporosis, antidiarreico, inmunomodulador, probiótico y prebiótico, antiaterogénico, desensibilización a alergia, arteriosclerosis, reduce niveles de colesterol, antidepresivo (inhibe la MAO) y en prevención de problemas de próstata (KomosinskaVassev et al., 2015; Nogueira et al., 2012; Bogdanov, 2015).

Estudios recientes citan que el polen incrementa el rendimiento deportivo, además de ser un gran suplemento alimenticio debido a su composición en carbohidratos, fibra, proteínas, lípidos (ácidos grasos insaturados como el oleico, linoleico –omega6- y linolénico -omega3-), minerales (el potasio se encuentra en mayor proporción seguido de fósforo, calcio, magnesio, zinc, manganeso, hierro, cobre y selenio), vitaminas (provitamina A, vitamina E-tocoferol-, niacina, tiamina, ácidos fólicos y biotina), flavonoides (responsables del color y del sabor amargo), esteroides y terpenos (Bogdanov, 2015). La variabilidad nutricional depende del origen botánico del polen y de distintos factores ambientales (Szczesna, 2006).

El polen apícola (pelotas, cargas de polen apícola o polen corbicular) es recolectado por las abejas, transportado en la corbículas de las patas posteriores y después almacenado en la colmena. Una pelota está constituida por miles de granos de polen de una o varias especies botánicas aglomeradas con gotas de néctar y secreciones salivares de las abejas. Suministra los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la colmena principalmente para la producción de la cría (Bogdanov, 2012, ProteinasAbejasLi, 2012).



Figura 1. Polen apícola



Figura 2. Corbícula de pata trasera de *Apis mellifera* llena de polen.

El estudio de la morfología del polen (palinología), permite la identificación de tipos botánicos. Gracias a esto podemos analizar, por tanto, la biodiversidad botánica y polínica de una zona localizada. A la hora de evaluar la importancia del polen en la nutrición apícola, se debe hacer un análisis de su composición. Una mayor o menor concentración de diferentes nutrientes en cada tipo polínico, marcará su calidad nutritiva y, por tanto, su beneficio para la salud y desarrollo de la colonia (Bath, 2009). La polinización por animales tiene gran importancia en la preservación del ecosistema, ya que el declive de especies polinizadoras se produce paralelamente al declive de muchas especies botánicas. El número de colonias de abejas está disminuyendo debido a distintos tipos de parásitos propios de las abejas (*Aethina tumida*, *Nosema ceranae*, *Varroa jacobsoni*), al uso indiscriminado de fitosanitarios como pesticidas y herbicidas, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad florística del entorno y su nutrición. Todos estos factores están relacionados entre sí, por eso la conservación de hábitats naturales o seminaturales para proteger los recursos de las abejas ayudaría a mejorar los servicios de la polinización (Klein, 2006).

Índices de biodiversidad

El concepto de biodiversidad en ecología de comunidades es la expresión de dos componentes, el primero de ellos es el número de especies presentes en la comunidad y se denomina riqueza de especies, el segundo componente es la equitabilidad, y describe cómo se distribuye la abundancia entre las especies que integran la comunidad (Marrugan, 1998). Para estimar la biodiversidad hay que tener un buen conocimiento de la composición taxonómica y considerar que todos los individuos asignados a una clase (especie) son idénticos. La biodiversidad es una variable nominal.

Los índices que combinan tanto la riqueza de especies como la equitabilidad en un solo valor se denominan índices de biodiversidad. Una de las principales críticas a estos índices es que combinan un conjunto de variables que caracterizan a la estructura de la comunidad: el número de especies (riqueza específica), la abundancia relativa de las especies (equitabilidad), y la homogeneidad y el tamaño del área muestreada (Zar, J.H. 1996. Biostatistical Analysis).

Uno de los índices más utilizados en estudios de biodiversidad es el índice de Margalef o índice de riqueza específica que es independiente al tamaño de muestra y se basa en la relación entre el número total de especies (S) y el número total de individuos observados (n). Se calcula con la siguiente fórmula $R = (S-1)/\ln(n)$. El índice de Shannon o índice de biodiversidad es el de empleo más frecuente en ecología de comunidades e incorpora en un solo valor a la riqueza específica y a la equitabilidad. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Siendo S el número de especies (la riqueza de especies) y p_i proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie i): n_i/N (KREBS, C.J. 1995).

La biodiversidad es un buen indicador ambiental. Existen pérdidas de biodiversidad debido a distintos factores como la deforestación, la erosión, la introducción de especies exóticas, el comercio ilegal de especies silvestres, la contaminación de suelo, el aire, el agua, el cambio climático, etc (González et al., 2003). Estas pérdidas botánicas llevan consigo el declive de polinizadores (Alexandra-Maria Klein, et al., 2007). Diferentes estudios han demostrado que la diversidad de polen es esencial para un buen estado de salud de la colonia. Aquellas colonias capaces de recolectar una mayor cantidad de polen de orígenes botánicos distintos son las que mayor esperanza de vida presentan, debido a que su estado de salud será más óptimo y podrán hacer frente con mayor éxito a parásitos y condiciones medioambientales adversas (Alaux et al., 2011).

Recolección y almacenamiento del polen apícola

El proceso que se lleva a cabo para la obtención de las pelotas de polen (Figura 1) comienza con la recolección del polen por parte de las abejas. Es de destacar que no tienden a mezclar granos de polen de distintas especies de plantas en la misma carga. Una vez que

tienen las corbículas llenas (Figura 2), vuelven a la colmena para almacenarlo, al entrar a la colmena pierden las pelotas por una trampa puesta por el apicultor, cayendo la pelota en una canasta. Las trampas (Figura 3) se colocan a la entrada de la colmena, con agujeros con una tamaño menor al cuerpo de la abeja, obligando a la abeja a soltar el polen. La trampa no debe estar mucho tiempo ya que el polen es la fuente de alimento para la colonia y la abeja acaba cogiendo menor cantidad de polen, haciendo la pelota más pequeña y entrando con ella a la colmena.



Figura 3. Trampa de polen

Este polen recogido tiene que ser tratado, ya que contiene de un 20 a un 30 % de agua (6g de agua de cada 100g de polen) y, es un medio idóneo para el crecimiento de microorganismos. Por ello, para poder conservarlo y analizarlo en condiciones óptimas, es necesario realizar un proceso de secado mediante calor, máximo a 40°C en estufas eléctricas para evitar que se pierdan vitaminas y durante el menor tiempo posible, o bien, secar por congelación. Si bien queremos utilizar la polen para la terapéutica lo mejor es conservarlo en nevera. Otro método que se puede utilizar es la liofilización pero se produce una pérdida importante de vitamina C y provitamina A.

El secado a 40°C tiene grandes desventajas, un estudio en Brasil demostró que durante 6h a 45°C se perdía vitamina E, β caroteno y provitamina A (De Melo Pereira, I, 2008). Otro estudio en España comprobó que al guardar el polen en nevera se preservaba mejor que si se secaba en horno eléctrico (Dominguez-Valhondo, D; et al., 2011). La mayor propiedad del polen es su poder antioxidante, que disminuye un 59% al cabo de un año (sobre todo compuestos fenólicos). El pan de abeja se conserva mejor debido a que es una mezcla de miel,

polen y secreciones de las abejas que contiene varias enzimas que producen una fermentación que finaliza en ácido láctico permitiendo que se preserve mayor tiempo sin alterarse.

El criterio más importante a tener en cuenta en la conservación es la seguridad en cuanto a calidad microbiológica. Utilizar métodos como irradiación, tratamientos con ozono o químicos no es la mejor opción para la eliminación de estos microorganismos debido a los residuos que dejan. El polen puede estar contaminado por distintos contaminantes como la polución del aire, metales pesados y pesticidas, por este motivo las colmenas deben estar colocadas a más de 3 km de distancia de zonas de tráfico o cultivos tratados con pesticidas. Tanto las plantas como el polen pueden ser modificados genéticamente y por lo tanto deben de ser identificados como tal (OGM).

Además de los estudios microbiológicos se realizan otros estudios con las muestras de polen como un análisis sensorial (color, olor, contaminantes visibles), examen microscópico (botánica y geográficamente, no debe haber partes de abejas ni partes de plantas), examen químico (contenido de agua, carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales) y contaminantes (pesticidas y metales pesados). Por estos motivos para ser comercializado debe haber llevado todos estos controles y por tanto ser etiquetado según la legislación (Bogdanov, 2015, Nogueira, 2012).

OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este TFG –que incluye revisión bibliográfica, análisis de muestras y análisis estadístico– es el de comparar la producción y diversidad de polen apícola en 2 localidades alcarreñas (Aldeanueva de Atienza, y Molina de Aragón) y 2 localidades manchegas (Valdilecha y Almoguera), situadas todas en el centro de la Península ibérica. Nuestra hipótesis de partida se basa en que la producción de polen apícola así como la diversidad de tipos polínicos y botánicos disminuyen con la altitud debido a que los factores climáticos se vuelven más rigurosos.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- (i) Conocer la producción en peso de polen que recolectan las distintas colonias de esas localidades.
- (ii) Saber el total de tipos polínicos por colonia.
- (iii) Analizar la cantidad de tipos botánicos por colonia.
- (iv) Establecer relaciones entre biodiversidad polínica con biodiversidad botánica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localidades de estudio

Los apiarios estudiados se encuentran en las localidades de Aldeanueva de Atienza, Molina de Aragón y Almoguera, situadas en la provincia de Guadalajara; y Valdilecha que pertenece a la provincia de Madrid. Aunque se encuentren en provincias distintas se pueden estudiar conjuntamente debido a que geográficamente se encuentran en las mismas condiciones de suelo y clima. Para estudiarlas vamos a clasificarlas en localidades de la Alcarria, o de tierras altas, que son Aldeanueva de Atienza (AA), a 1321m s.n.m. y Molina de Aragón (MA) a 1065m s.n.m; y en localidades manchegas o de tierras bajas de las que forman parte Valdilecha (V) a 716m s.n.m y Almoguera (A) a 659m s.n.m. Todas ellas se encuentran sobre substrato básico, factor que no vamos a tener en cuenta en el estudio.

Estas localidades se encuentran rodeadas de entornos paisajísticos distintos; mientras que Aldeanueva de Atienza está rodeada de un entorno muy natural y menos explotado por el hombre, las tres restantes se encuentran en un entorno rural lleno cultivos (ver anexo1).

Paisaje vegetal del entorno de las localidades estudiadas

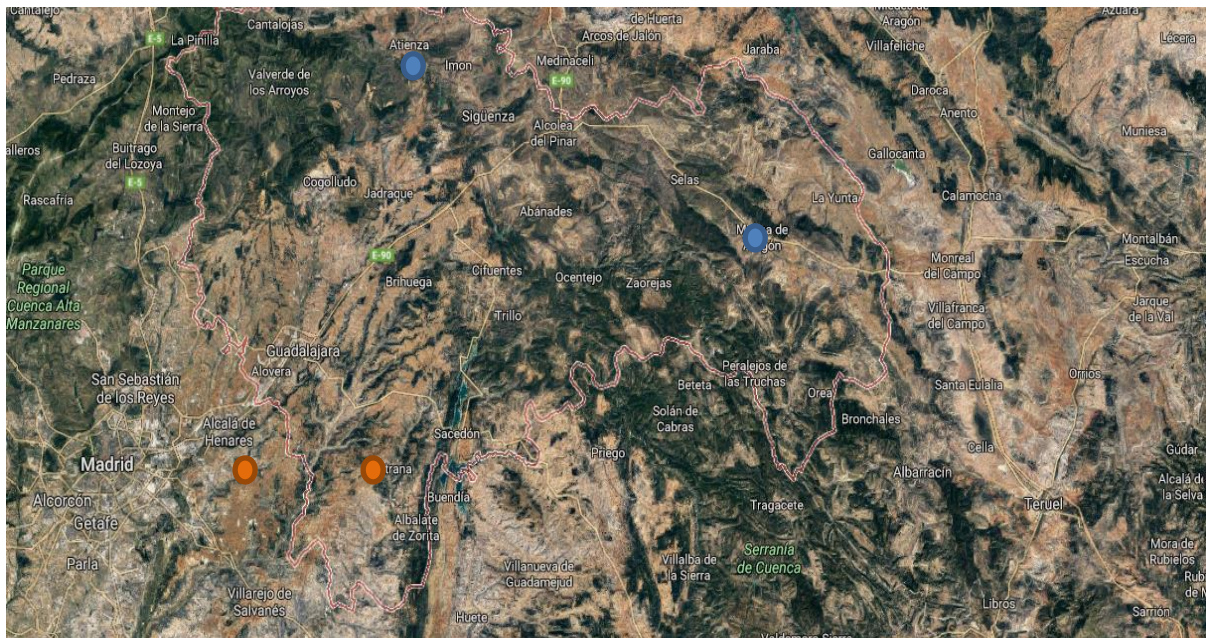


Figura 4. Provincia de Guadalajara y parte de Madrid. Círculos azules (●) corresponden a las localidades alcarreñas de Aldeanueva de Atienza (arriba a la izquierda) y Molina de Aragón (arriba a la derecha). Círculos de color naranja (●) corresponden a las localidades manchegas de Almoguera (abajo a la derecha) y Valdilecha (abajo a la izquierda).

Tres de las localidades se ubican en la provincia de Guadalajara y una cuarta (Valdilecha) en la de Madrid. Las provincias de Guadalajara y Madrid presenta una gran variedad de paisajes vegetales, fruto de la combinación de factores ecológicos y antrópicos (Rivas-Martínez, 1987).

Dentro de las masas arbóreas de frondosas y matorrales de sustitución cabe distinguir formaciones de encinares, quejigares, melojares, sabinares y pinares.

Los encinares de *Quercus rotundifolia* abarcan buena parte de los territorios provinciales a excepción de áreas de montaña o riberas de ríos, arroyos y lagunas. Constituye formaciones arbóreas acompañadas por matorrales como el romero (*Rosmarinus officinalis*), jaras (*Cistus sp.*), tomillo (*Thymus sp.*), cantueso (*Lavandula sp.*), espliego (*Lavandula angustifolia*) y salvia (*Salvia officinalis*). Los quejigares de *Quercus faginea* alternan con los encinares y sabinares y cuentan con su mayor extensión en terrenos sobre suelos básicos entre los 800 y 1.200 metros de altitud. Aparecen acompañados de serbales y matorrales espinosos. Los melojares de *Quercus pyrenaica* ocupan una franja entre los 1000 y 1.400 m en la sierra sobre suelos pobres en bases. El roble melojo suele ir acompañado de jarales (*Cistus laurifolius*) y berceales (*Stipa gigantea*). Los hayedos de *Fagus sylvatica* han quedado reducidos a la Sierra de Ayllón, fundamentalmente en el Parque Natural de Tejera Negra, contando con una protección integral. Entre las masas de coníferas caben destacar los pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) que ocupan las áreas montañosas entre los 1.400 y 1.900 m en la sierra de Guadarrama y fundamentalmente los sabinares de sabina albar (*Juniperus thurifera*) que es el genuino bosque de las parameras de Guadalajara. Ocupa las mesetas llanas (100-1400m) y las laderas expuestas a las condiciones climáticas más rigurosas. Por último el pino resinero (*Pinus pinaster*) está presente especialmente en zonas montañosas de Molina de Aragón. Además de estas formaciones boscosas, las márgenes de los numerosos ríos que atraviesan la provincia están presentes especies tan significativas como los fresnos (*Fraxinus sp.*), olmos (*Ulmus sp.*), alisos (*Alnus glutinosa*), abedules (*Betula pendula*), que se desarrollan junto a carrizales y juncos.

Existen también numerosos espacios protegidos. Tres Parques Naturales declarados, los de Hayedo de Tejera Negra, Alto Tajo y Barranco del Río Dulce y uno en vías de declaración la Sierra Norte de Guadalajara. Dos Reservas Naturales las de Lagunas de Puebla de Beleña y Macizo Pico del Lobo Cebollera. Dos Reservas Fluviales las de los ríos Pelagallinas y Sotos del Tajo. Seis Microreservas las de: Cerros Margosos de Pastrana y Yebra, Cerros Volcánicos de la Miñosa, Cuevas de la Canaleja y de los Murciélagos, Prados

Húmedos de Torremocha del Pinar y Saladares de la Cuenca del río Salado. Tres Monumentos Naturales los de Tetras de Viana, Sierra de Caldereros y Sierra de la Pela y Laguna de Somolinos (Diputación provincial de Guadalajara, 2017)

Merece la pena resaltar que el paisaje de una de las localidades (Valdilecha) exhibe la estampa de cultivos hortícolas y de álamos blancos (*Populus alba*). Las laderas son propicias de la vid y el olivo, pero igualmente en estas nacen hierbas aromáticas como el tomillo o las marañas. Además existe un magnífico pinar (que es fruto de una repoblación forestal realizada en el año 1953) (Ayuntamiento de Valdilecha, 2017).

Análisis de muestras

El análisis de las muestras ha sido llevado a cabo en el Centro de Investigación Apícola y Agroambiental de Marchamalo (CIAPA) sobre recolecciones efectuadas en los meses de junio julio y agosto del 2014 en apiarios situados en los alrededores de las localidades de Aldeanueva de Atienza, Molina de Aragón, Valdilecha y Almoguera. En cada muestra se han registrado los siguientes datos (Tabla 1): código que se le asigna a cada muestra, nombre de la colonia (SREF), letra de repetición, resultado % taxón, tipo de polen, Pantone color (guía PANTONE), fecha de recogida, población, provincia localización y peso de la muestra, además del nombre del apicultor que recogió la muestra.

Tabla 1. Registro de datos del polen apícola de la colonia 3 con código PC-0478.

COD	SREF	Letra	%Taxon	Tipo Polen	Pantone Color	Fecha Recogida	Población	Provincia Localización	Peso muestra
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	A	40,48	Cistaceae	138U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	A	10,12	Cichorioideae	138U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	B	20,48	Plantago t.	110U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	B	16,39	Olea	110U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	B	4,10	Oleaceae	110U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	C	3,61	Papaver	5743U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	D	0,60	Onobrychis t.	160U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	D	0,60	Retama t.	160U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	E	2,41	Asteroideae	459U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83
PC-0478	CNA3 (COLONI A 3)	F	1,20	Rubus	118U	28-jun-14	MOLINA DE ARAGÓN	GUADALAJARA	0,83

En cada muestra se realiza lo siguiente. En primer lugar se separan las pelotas de polen por sus diferentes colores sobre un fondo oscuro. Los colores se identifican con un código de la guía Pantone, se clasifican del más abundante al menos mediante letras (A, B, C, etc) y, una vez separados, se pesan y se cuenta el número de pelotas por color. Se guardan en tarros etiquetados. Se observan 3 pelotas de cada color al microscopio óptico (ObjetivoX40) y se identifican los tipos polínicos utilizando la bibliografía recomendada (Valdés et al., 1987). El análisis palinológico permite reconocer los tipos botánicos predominantes en cada pelota de polen. Todos estos datos permiten calcular índices de biodiversidad. Al ser un gran tamaño de muestras (N=53), la información de parte de ellas fueron facilitadas en formato excell por la Dra. Amelia Virginia González Porto del Centro de Investigación Apícola y Agroambiental de Marchamalo. Para calcular el Índice de Biodiversidad (Shannon y Margalef) polínico y botánico, se utilizó el programa *Biodiversity Calculator* que se encuentra disponible de forma gratuita en internet.

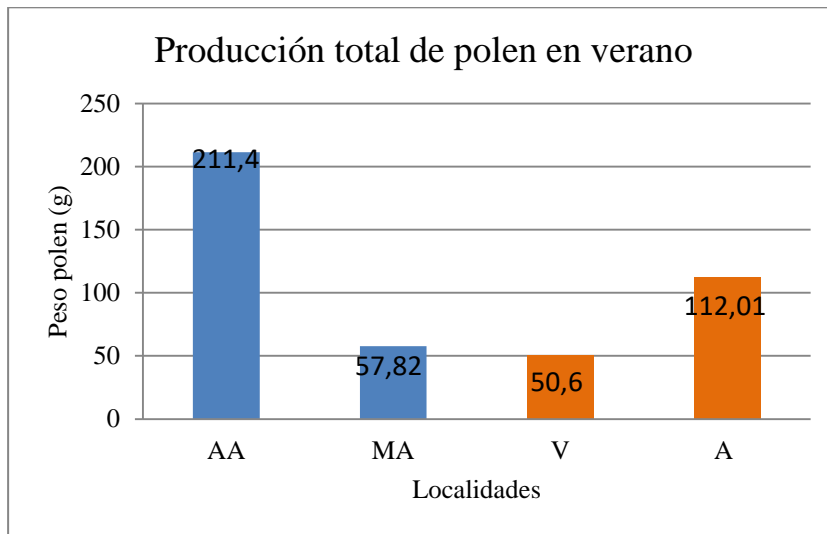
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cuatro localidades las vamos a identificar como AA (Aldeanueva de Atienza), MA (Molina de Aragón), V (Valdilecha) y A (Almoguera).

a) Producción de polen

La mayor producción aparece en la localidad más alta (Aldeanueva de Atienza) con un valor de 211,4 g, casi el doble que la segunda localidad con mayor producción, Almoguera, con un valor de 112,01g que es la localidad ubicada a menor altitud. La producción de las dos localidades restantes es similar: Molina de Aragón con 57,82 g y Valdilecha con 50,6 g (Figura 5). Una explicación a estos resultados puede deberse a que Aldeanueva de Atienza se encuentra rodeada de un paisaje natural sin apenas alteración antrópica (ver anexo1). El resto de localidades se encuentran en un entorno rural rodeadas por cultivos. Es decir, en la producción de polen puede influir más el entorno que rodea al apiario que la altitud dónde se encuentran las colonias. En este caso, el peso no se relaciona con un gradiente altitudinal. Por otra parte, la mayor producción puede estar indicando una fenología más favorable en la localidad más alta para la época de recolección que fue en verano.

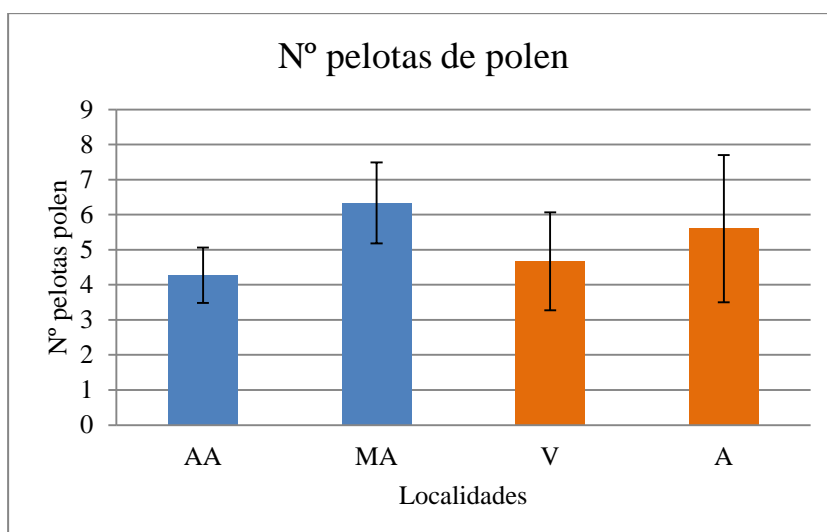
Figura 5. Producción total de polen apícola



b) Tipos de pelotas de polen

La localidad que mayor número de tipos de pelotas de polen tiene, es Molina de Aragón ($6,33 \pm 1,15$ tipos polínicos por colonia), seguido de Almoguera ($5,6 \pm 2,06$), Valdilecha ($4,67 \pm 1,39$) y ésta mayor que Aldeanueva de Atienza ($4,27 \pm 0,78$) (Figura 6). Con la excepción de Molina de Aragón, el resto de localidades cumplen con la hipótesis de partida de mayor riqueza a menor altitud. la explicación a la excepción de la localidad de Molina de Aragón puede hallarse en que se han designado en sus alrededores parques naturales y diferentes espacios protegidos que pueden aportar diversidad en el polen apícola recogido.

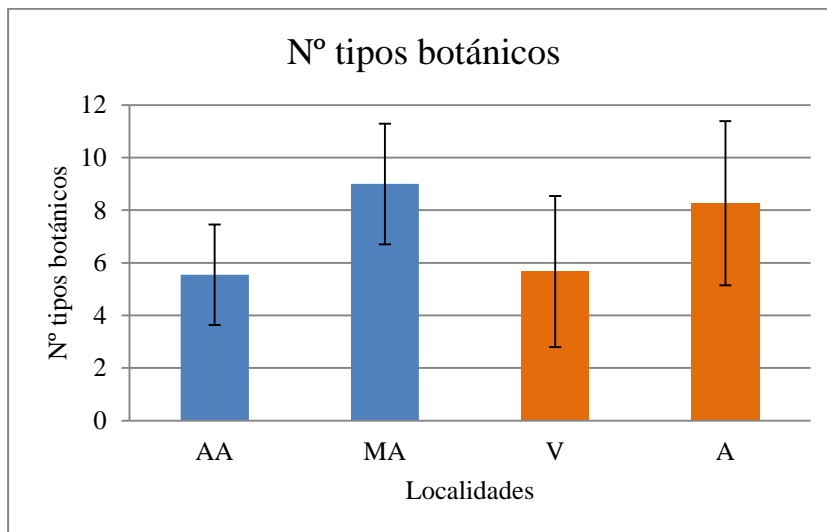
Figura 6. Número de pelotas de polen por apiario.



c) Tipos botánicos de polen

El que más tipos botánicos de polen tiene es el apiario de Molina de Aragón ($9 \pm 2,29$), seguido del de Almoguera ($8,27 \pm 3,12$), Valdilecha ($5,67 \pm 2,87$) y por último el de Aldeanueva de Atienza ($5,55 \pm 1,91$) (Figura 7). El hecho que el apiario de Molina de Aragón sea el que presenta el mayor número de tipos polínicos botánicos, puede ser debido a la gran cantidad de diversidad botánica de la zona al encontrarse el apiario en las proximidades de espacios protegidos y naturales como el Parque Natural del Alto Tajo, o bien, porque al ser la localidad que presentaba menor cantidad de polen, la abeja podría haber tenido que ir a más de una especie botánica para conseguir la cantidad de polen requerida. El resto de localidades cumplen con la hipótesis de partida, de aumento de tipos polínicos con la disminución de la altitud.

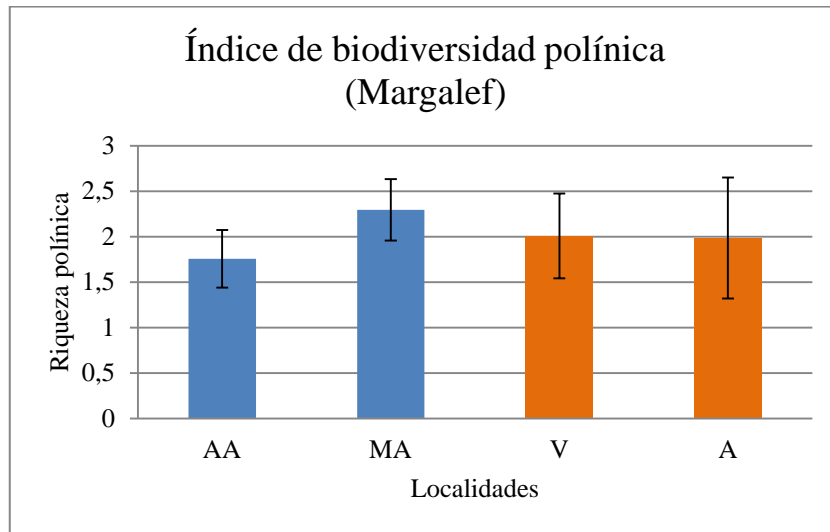
Figura 7. Tipos botánicos por apiario.



d) Índices de Biodiversidad

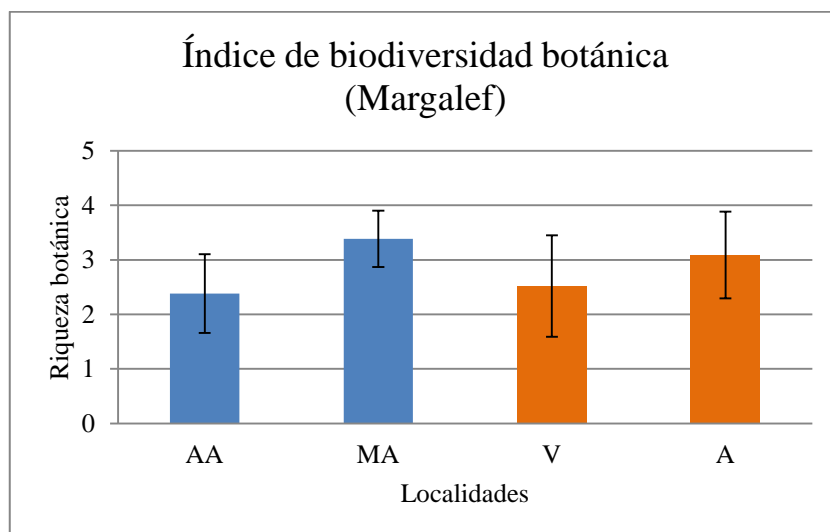
El índice de Margalef o índice de riqueza específica indica la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada. El que mayor riqueza polínica presenta es Molina de Aragón con un índice de biodiversidad de $2,29 \pm 0,33$, a continuación el de Valdilecha ($2 \pm 0,46$), después Almoguera ($1,98 \pm$) y por último Aldeanueva de Atienza ($1,75 \pm 0,31$) (Figura 8).

Figura 8. Índice de biodiversidad polínica (Margalef)



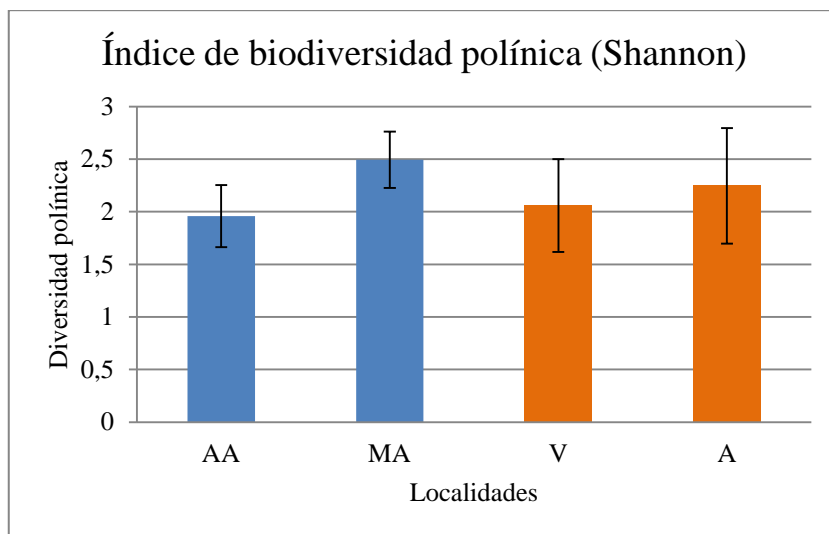
En cuanto a riqueza botánica hay una mayor riqueza en Molina de Aragón ($3,39 \pm 0,51$) seguida de Almoguera ($3,08 \pm 0,79$), Valdilecha ($2,5 \pm 0,92$) y por último Aldeanueva de Atienza ($2,3 \pm 0,72$) (Figura 9). La explicación de la mayor riqueza en Molina de Aragón puede deberse a los mismo factores que hemos comentado anteriormente, encontrarse rodeada de espacios naturales y protegidos. El resto de poblaciones cumplen con la hipótesis de partida, pues existe una mayor riqueza de tipos botánicos en Almoguera, que en Valdilecha y que en Aldeanueva de Atienza.

Figura 9. Índice de biodiversidad botánica (Margalef)



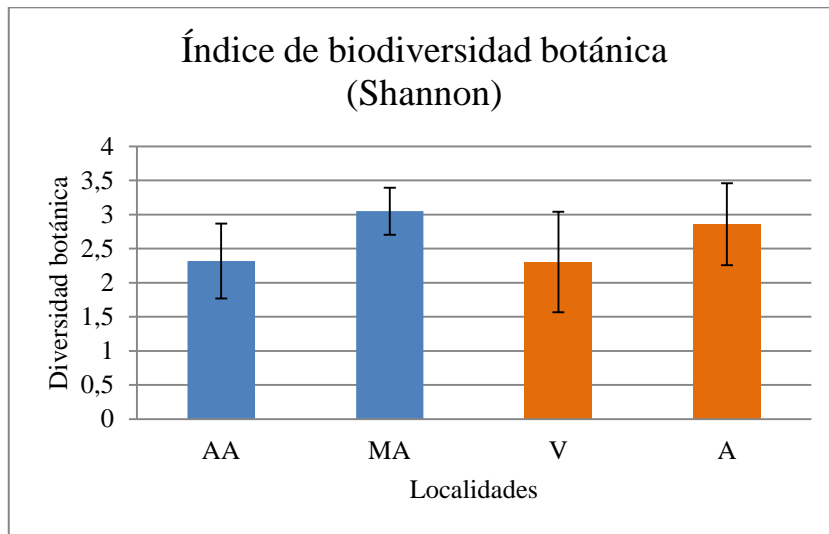
El índice de Shannon es un índice de biodiversidad que incorpora a la riqueza específica a la equitabilidad. Este índice aislado no nos indica nada más que la biodiversidad, pero teniendo el valor de Margalef, podemos hacer un estudio comparativo. Nuestros resultados muestran en cuanto a la biodiversidad polínica que Molina de Aragón es la población más biodiversa ($2,49 \pm 0,26$), seguido de Almoguera ($2,24 \pm$) la localidad de menor altitud, Valdilecha ($2,06 \pm 0,44$) y por último Aldeanueva de Atienza ($1,95 \pm 0,29$) (Figura 10). Con este índice podemos observar y comparar que, aunque la localidad de Valdilecha era más rica en tipos polínicos que Almoguera, presenta una menor biodiversidad.

Figura 10. Índice de biodiversidad polínica (Shannon)



En cuanto a la biodiversidad botánica, el que mayor índice tiene es Molina de Aragón ($3,04 \pm$), seguido de Almoguera ($2,86 \pm 0,6$), Aldeanueva de Atienza ($2,31 \pm 0,54$) y Valdilecha ($2,30 \pm 0,73$) (Figura 11).

Figura 11. Índice de biodiversidad botánica (Shannon)



CONCLUSIONES

Como resultado de nuestro estudio comparado sobre polen apícola entre 2 localidades alcarreñas y 2 localidades manchegas del centro de España en verano, cabe extraer el siguiente resumen y conclusiones:

1. La localidad con mayor producción de polen es la alcarreña de Aldeanueva de Atienza que es la ubicada a mayor altitud de todas las estudiadas. Esta localidad, en cambio, es la que menor tipo de pelotas de polen produce. De igual modo es la localidad con menores índices de biodiversidad (índice de Margalef e índice de Shannon) para tipos de pelota de polen y tipos botánicos (taxonómicos) observados.

2. La localidad alcarreña de Molina de Aragón es la localidad donde se han encontrado mayor tipo de pelotas de polen y que presenta mayores índices de biodiversidad (índice de Margalef e índice de Shannon) para tipos de pelota de polen y tipos botánicos (taxonómicos).

3. Estos resultados refutan nuestra hipótesis de partida referente a que la producción de polen apícola así como la diversidad de tipos polínicos y botánicos disminuyen con la altitud debido a que los factores climáticos se vuelven más rigurosos.

4. La mayor producción de polen en Aldeanueva de Atienza se puede explicar como una compensación de la producción de la colmena a la menor diversidad florística que se encuentra en su entorno.

5. La mayor diversidad en tipos de pelotas de polen y tipos botánicos de polen encontrada en la localidad alcarreña de Molina de Aragón puede explicarse por el elevado grado de naturalidad de su entorno rodeado de una red de parques naturales. Las políticas de

protección de ecosistemas pueden estar influyendo muy positivamente en la riqueza y biodiversidad polínica de las colmenas.

Agradecimientos: al Centro Agrario de Marchamalo y en especial a la Dra. Amelia Virginia González Porto (coordinadora española del grupo CSI Pollen), por la cesión de las muestras y datos de polen apícolas analizadas en el trabajo, y a mi tutor, José Antonio Molina Abril por inculcar la gran necesidad de preservar las especies polinizadoras como por facilitar parte de bibliografía y el recurso electrónico de *Biodiversity Calculator*

BIBLIOGRAFÍA

- Alaux, C., Dantec, Ch., Parrinello, H. & Le Conte, Y. (2011). Nutrigenomics in honeybees: digital gene expression analysis of pollen's nutritive effects on healthy and varroa-parasitized bees. *BMC Genomics*, 12:113.
- Alexandra-Maria Klein, Bernard E. Vaissière, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Review (2007).
- APIFRESH. Report on physicochemical composition, microbiological levels and sensorial properties of European bee pollen samples.
- Ayuntamiento Valdilecha <http://www.valdilecha.org/paisaje>
- Biodiversity Calculator https://www.alyoung.com/labs/biodiversity_calculator.html
- Bogdanov. S. (2012). Bee Pollen Book BeeProductScience, 1: 113.
- Bogdanov. S. (2015). Pollen: Production, Nutrition and Health: A Review Stefan Bogdanov
- Carla Nogueira , Antonio Iglesias , Xesus Feás and Leticia M. Estevinho. Commercial Bee Pollen with Different Geographical Origins: A Comprehensive Approach.
- Chengcheng Li, Baohua Xu, Yuxi Wang, Qianqian Feng, Weiren Yang. Effects of dietary crude protein levels on development, antioxidant status, and total midgut protease activity of honey bee (*Apis mellifera*).
- De Melo Pereira, I (2008) Stability of antioxidant vitamins in bee pollen samples (original in Portuguese). PhD Pharmaceutical Science School Sao Paulo University, Sao Paulo, Brazil; pp 90pp.
- Diputación de Guadalajara <http://www.dguadalajara.es/web/guest/vegetacion>

Origen y biodiversidad del polen apícola

- Dominguez-Valhondo, D; Gil, D B; Hernandez, M T; Gonzalez-Gomez, D (2011) Influence of the commercial processing and floral origin on bioactive and nutritional properties of honeybee-collected pollen. *International Journal of Food Science and Technology* 46 (10): 2204-2211.
- González M. E., Jurado E., González E S., Aguirre, Ó.C, Jiménez, P. &Navar J. (2003) Cambio climático mundial: origen y consecuencias. Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey México 377385.
- Izco, J. et al. (2004). *Botánica*. McGraw-Hill. 2ª edición
- KREBS, C.J. 1995. *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper Collins Publishers, New York, 801 p.
<http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3Diversidad.pdf>
- Maria G.R.Campos et al. Review Pollen composition and standardisation of analytical methods.
- Magurran 1998.Magurran A.E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. London: Croom Helm.
- O.M. BARTHa,b*, M.C. Munhoza and C.F.P. Luza,c .Botanical Origin of Apis Pollen loads using colour, weight and pollen morphology data.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<http://www.fao.org/docrep/008/y5110s/y5110s00.htm#Contents>
- Rivas-Martínez, S. (1987): *Memoria del mapa de Series de Vegetación de España*. I.C.O.N.A. Serie Técnica. Publ. Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Robert Brodschneider, Karl Crailsheim. Department of Zoology, Karl-Franzens-University Graz, Universitätsplatz 2, 8010 Graz, 11 February 2010. Nutrition and health in honey bees.
- Rosado Gordón, M.A. y Jardín Botánico Atlántico, 2012
http://apolo.entomologica.es/cont/materiales/informe_tecnico.pdf APOLO:
Plonizadores y biodiversidad.
- Teresa Szczêsna (2006). Protein content and amino acid composition of bee collected pollen from selected botanical origins.

Anexo1

Figura 12. Paisaje de Aldeanueva de Atienza por Google earth.



Figura 13. Paisaje de Molina de Aragón por Google earth.



Figura 14. Paisaje de Valdilecha por Google earth.

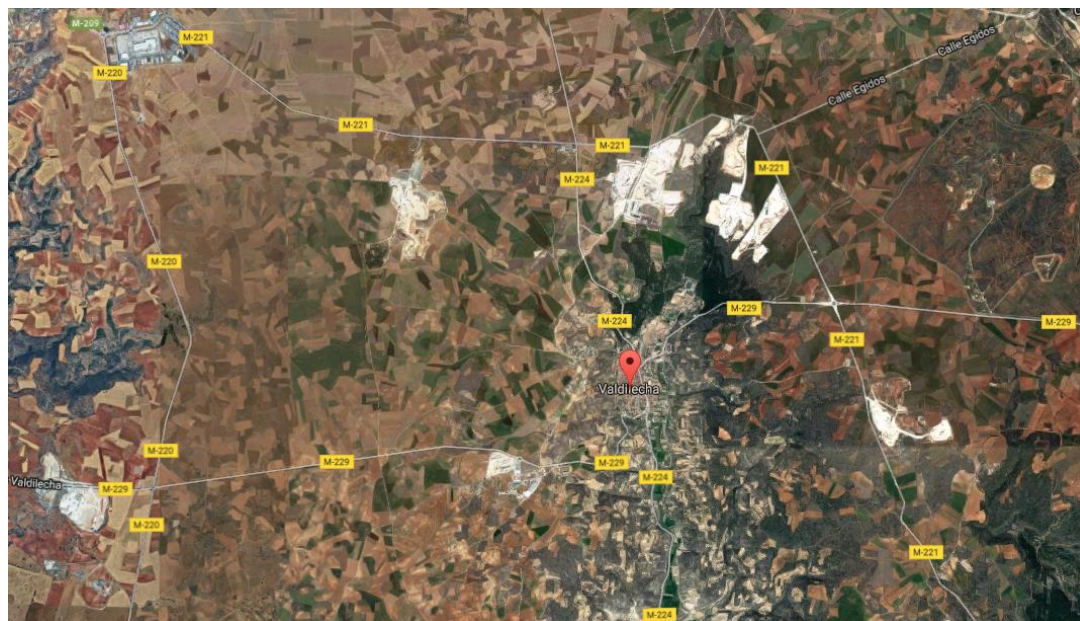
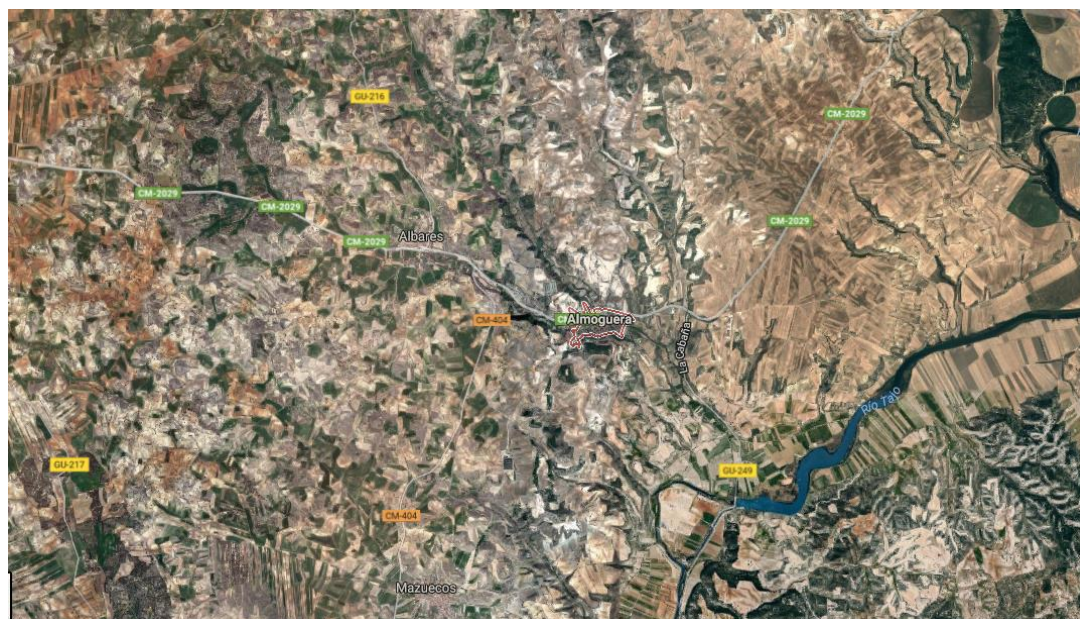


Figura 15. Paisaje de Almoguera por Google earth.



Anexo 2

Tabla2. Datos recogido de Aldeanueva de Atienza

Aldeanueva de Atienza	Nombre colonia	Fecha recolección	Peso	Tipos polínicos	Tipos botánicos
PC-0407	COL. 1 (COLONIA 1)	07-jun-14	20,04	4	7
PC-0408	COL. 2 (COLONIA 2)		20,03	5	8
PC-0409	COL. 3 (COLONIA 3)		20,06	5	9
PC-0442	COL. 1 (COLONIA 1)	28-jun-14	23,09	4	6
PC-0443	COL. 2 (COLONIA 2)		22,46	5	6
PC-0444	COL. 3 (COLONIA 3)		22,42	5	5
PC-0545	COL. 1 (COLONIA 1)	20-jul-14	17,31	4	3
PC-0546	COL. 2 (COLONIA 2)		16,15	3	4
PC-0547	COL. 3 (COLONIA 3)		17,50	3	3
PC-0548	(COLONIAS 1,2,3)	10-ago-14	1,09	4	5
PC-0549	(COLONIAS 1,2,3)	31-ago-14	31,25	5	5

Tabla 3. Datos recogidos de Molina de Aragón

Molina de Aragón	Nombre colonia	Fecha recolección	Peso	Tipos polínicos	Tipos botánicos
PC-0401	CNA1 (COLONIA 1)	08-jun-14	6,45	7	8
PC-0402	CNA2 (COLONIA 2)		11,93	5	6
PC-0403	CNA3 (COLONIA 3)		4,30	5	6
PC-0476	CNA1 (COLONIA 1)	28-jun-14	2,75	7	10
PC-0477	CNA2 (COLONIA 2)		1,10	6	9
PC-0478	CNA3 (COLONIA 3)		0,83	6	10
PC-0479	CNA1 (COLONIA 1)	20-jul-14	3,90	7	13
PC-0480	CNA2 (COLONIA 2)		4,51	6	10
PC-0481	CNA3 (COLONIA 3)		4,00	6	8
PC-0542	CNA1 (COLONIA 1)	30-ago-14	3,04	9	12
PC-0543	CNA2 (COLONIA 2)		7,06	7	10
PC-0544	CNA3 (COLONIA 3)		7,95	5	6

Origen y biodiversidad del polen apícola

Tabla 4. Datos recogidos de Valdilecha

Valdilecha	Nombre colonia	Fecha recolección	Peso	Tipos polínicos	Tipos botánicos
PC-0383	P1V. CHA (COLONIA 1)	08-jun-14	2,84	4	6
PC-0384	P2V. CHA (COLONIA 2)	26-jun-14	4,52	7	8
PC-0385	P3V. CHA (COLONIA 3)		0,44	3	5
PC-0436	P1V. CHA (COLONIA 1)		1,52	4	5
PC-0437	P2V. CHA (COLONIA 2)		3,86	6	11
PC-0438	P3V. CHA (COLONIA 3)		12,29	7	12
PC-0457	P1V. CHA (COLONIA 1)	20-jul-14	3,66	5	7
PC-0458	P2V. CHA (COLONIA 2)		3,62	5	3
PC-0459	P3V. CHA (COLONIA 3)		10,23	5	4
PC-0485	P1V. CHA (COLONIA 1)	10-ago-14	0,07	3	3
PC-0486	P2V. CHA (COLONIA 2)		3,36	5	5
PC-0487	P3V. CHA (COLONIA 3)		1,48	6	6
PC-0510	P1V. CHA (COLONIA 1)	31-ago-14	0,34	3	2
PC-0511	P2V. CHA (COLONIA 2)		0,61	4	5
PC-0512	P3V. CHA (COLONIA 3)		1,76	3	3

Tabla 5. Datos recogidos de Almoguera

Almoguera	Nombre colonia	Fecha recolección	Peso	Tipos polínicos	Tipos botánicos
PC-0386	P1V. ÑA (COLONIA 1)	08-jun-14	1,78	4	4
PC-0387	P2V. ÑA (COLONIA 2)		0,86	3	5
PC-0388	P3V. ÑA (COLONIA 3)		1,28	4	5
PC-0433	P1V. ÑA (COLONIA 1)	26-jun-14	21,48	7	11
PC-0434	P2V. ÑA (COLONIA 2)		24,57	6	9
PC-0435	P3V. ÑA (COLONIA 3)		6,53	5	9
PC-0454	P1V. ÑA (COLONIA 1)	20-jul-14	1,59	8	8
PC-0455	P2V. ÑA (COLONIA 2)		27,44	9	12
PC-0456	P3V. ÑA (COLONIA 3)		12,15	7	9
PC-0482	P1V. ÑA (COLONIA 1)	10-ago-14	1,50	6	9
PC-0483	P2V. ÑA (COLONIA 2)		2,60	3	8
PC-0484	P3V. ÑA (COLONIA 3)		2,74	3	3
PC-0507	P1V. ÑA (COLONIA 1)	31-ago-14	0,43	6	8
PC-0508	P2V. ÑA (COLONIA 2)		2,20	4	9
PC-0509	P3V. ÑA (COLONIA 3)		4,86	9	15

